

*АХЛЕСТИН А. В.*, нач. отдела оборудования, ООО «МЕКАП», г. Харьков

### ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕПРИВОДНОГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССАХ ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКИ

Приведены данные о величине и распределении скоростей при подгибке полки швеллера формируемыми элементами разной конструкции. Для каждой из них определены оптимальные диапазоны углов подгибки. Показаны преимущества формовки в клетях с боковыми цилиндрическими роликами.

Ключевые слова: неприводной инструмент, валковая формовка, эффективность, скорость, энергозатраты, качество.

Приведені дані про величину та розподіл швидкостей при підгинанні полки швелера формуючими елементами різної конфігурації. Для кожної з них визначені оптимальні діапазони кутів підгинання. Показані переваги формування в клітках з боковими циліндричними роликами.

Ключові слова: непривідний інструмент, валкове формування, ефективність, швидкість, енерговитрати, якість.

The data's on magnitude and distribution of speeds are reduced at a camber of a shelf of a channel section by molding elements of a different construction. For each of them the optimum ranges of corners of a camber are defined. Is shown, that most effective is the forming of roll-formed shapes in mills containing side cylindrical rollers.

Key words: instrument, roll-forming, effective, speed, expenditure of energy, quality.

#### 1. Введение

Повышение качества и снижение затрат на производство, в том числе энергетических является основным направлением развития производства. Одним из наиболее простых и в то же время действенных путей решения этой задачи является расширение применения в конструкциях профилегибочного оборудования неприводного формирующего инструмента [1, 2].

#### 2. Постановка проблемы

Отличительной особенностью неприводного инструмента (вспомогательные ролики, роликовые узлы, свободно вращающиеся элементы валков, а также отдельные валки в целом) является то, что он приводится во вращение движущейся в стане полосой, осуществляя одновременно ее формоизменение. При этом за счет изменения скорости вращения такого инструмента относительно как смежного с ним приводного инструмента (или его элементов), так и формируемой полосы уменьшается относительное скольжение в калибрах валков, что способствует повышению качества профилей и снижению энергозатрат на формовку.

Считается [1], что окружная скорость свободно вращающихся элементов валков примерно равна скорости движения полосы в стане. Однако, определение «примерно» не уточняется, условия применимости таких элементов не оговари-

ваются. И это при том, что они имеют различную форму рабочей поверхности (цилиндрическую, коническую, торообразную и др.), устанавливаются на подшипниках качения, скольжения, а то и вообще без них. Данные о распределении скоростей по длине рабочей части неприводных элементов валков и роликов в литературе отсутствуют.

Схемы совместного использования основного (валков) и вспомогательного (неприводных роликов) формующего инструмента в одной рабочей клетки признаны наиболее эффективными [2]. Однако исследований, подтверждающих это, практически нет. Исключение составляет работа [3], в которой экспериментально установлено, что при формовке в клетки с цилиндрическими роликами крутящий момент уменьшается на 57...66%, а с коническими роликами - на 30%.

Таким образом, процесс формовки с использованием неприводного инструмента изучен недостаточно, особенно в части скоростного режима. Эффективность применения такого инструмента в основном оценивается по величине крутящего момента.

Цель работы – аналитически определить распределение скоростей в калибрах валков, образованных с использованием неприводного формующего инструмента, и на этой основе оценить его эффективность.

### 3. Изложение основного материала исследований

Рассмотрим распределение скоростей в калибрах валков при формовке швеллера. Подгибка его полок (см. табл.) осуществляется различным формующим инструментом: коническими элементами, жестко связанными с валом; свободно вращающимися коническими элементами; неприводными коническими роликами с вертикальной осью вращения; неприводными цилиндрическими роликами. При этом во всех вариантах исполнения нижний валок является приводным, а верхний – неприводным.

Принимаем, что: формовка осуществляется в одной клетки; радиус скругления рабочей кромки верхнего валка – нулевой; скорость полосы равна окружной скорости цилиндрического элемента нижнего валка; массой неприводных элементов валков и роликов, а также силами трения в их опорах пренебрегаем; углы подгибки за проход - до 10 градусов; величина и распределение давлений в калибрах валков одинаковы во всех рассматриваемых вариантах.

При непрерывном процессе формовки скорость  $V_n$  полосы (табл., вар.1) является постоянной и равной 
$$V_i = \omega \frac{D_0}{2},$$

где  $\omega$  – угловая скорость приводного валка;

$D_0$  – диаметр цилиндрического элемента нижнего валка, а окружная скорость  $V_v$  верхнего валка соответственно равна скорости  $V_n$  полосы, которой он приводится во вращение.

Скорости точек на коническом элементе валка (табл., вар. I) возрастают с увеличением диаметра, на котором они расположены, и максимальное их значение составляет:

$$V_{1\max} = \omega \left( \frac{D_0}{2} + H \right),$$

а разность между наибольшей скоростью конического элемента и скоростью полосы, т.е. наибольшая величина относительного скольжения равна:

$$\Delta V_1 = V_1 \max - V_i = \omega \cdot H = \omega \cdot b \cdot \sin \alpha,$$

где  $b$  – ширина подгибаемой полки;

$H$  - высота калибра;

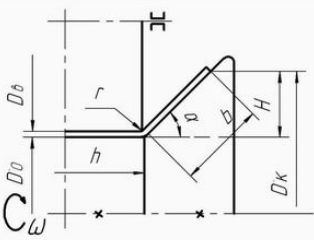
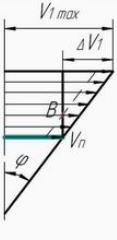
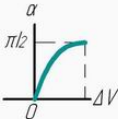
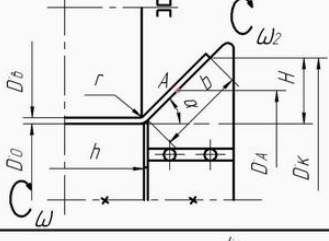
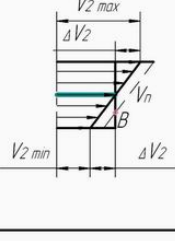
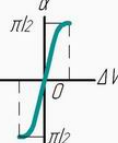
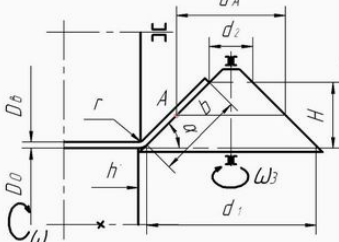
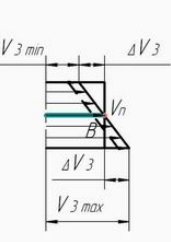
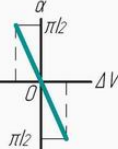
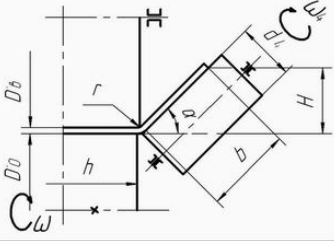


$\alpha$  – угол подгибки.

Можно  $\Delta V_1$  выразить через скорость полосы:

$$\Delta V_1 = V_i \cdot \frac{2H}{D_0} = V_i \cdot k_1.$$

Таблица 1

Скорости полосы и формирующих элементов разных конструкций при подгибке полки профиля

Вариант	Схемы калибров валков	Эпюры скоростей	Изменение $\Delta V$
I			
II			
III			
IV			

Назовем  $k$  – коэффициентом относительного скольжения. Он показывает во сколько раз величина скольжения отличается от скорости полосы.

В случае выполнения конического элемента свободно вращающимся на подшипнике (табл., вар. II) картина распределения скоростей отличается от рассмотренной выше. В точке  $A$ , расположенной на диаметре  $D_A$  (катающий диаметр), скорости полосы и конического элемента совпадают. Выше этой точки скорость элемента больше скорости полосы, а ниже – меньше. Положение точки  $A$  определяется из условия минимума затраченной энергии на вращение неприводного

элемента движущейся полосой. С учетом указанных выше допущений принимаем ее расположение на середине подгибаемой полки.

Для удобства геометрические и кинематические параметры калибров с применением неприводных элементов (варианты II – IV) определим, выразив их через основные параметры  $D_0$ ,  $H$ ,  $\omega$  и  $V_n$  калибра с обычным приводным нижним валком (вариант I). Тогда:

$$D_A = D_0 + H; V_{2 \max} = \frac{\omega_2}{2} \cdot (D_A + H); V_{2 \min} = \frac{\omega_2}{2} \cdot (D_A - H); \omega_2 = \omega \cdot \frac{D_0}{D_0 + H}. \text{ Очевидно, что } |\Delta V_2| = V_i \cdot \frac{\dot{I}}{D_0 + H}.$$

Таким образом, для II варианта исполнения калибра валков  $k_2 = \frac{H}{D_0 + H}$ .

При подгибке полки коническим роликом с вертикальной осью (табл., вар. III) происходит почти то же самое, что и при использовании свободно вращающегося конического элемента. Однако, вследствие указанной ориентации оси ролика имеются и отличия. Так, скорости точек на ролике изменяются в противоположном направлении: выше точки  $A$  они уменьшаются, а ниже – увеличиваются. Величины диаметров, соответствующих точкам на конической поверхности ролика по высоте калибра, изменяется по другой закономерности. То же можно сказать и об относительном скольжении.

Определяемые параметры приведем в окончательном виде:

$$d_1 = d_A + H \cdot \operatorname{ctg} \alpha; \quad d_2 = d_A - H \cdot \operatorname{ctg} \alpha; \quad \omega_3 = \omega \cdot \frac{D_0}{d_A};$$

$$V_{3 \max / \min} = V_i \cdot \frac{d_A \pm H \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{d_A}; \quad \Delta V_3 = V_i \cdot \frac{H \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{d_A}.$$

Если принять катающие диаметры конического ролика и свободно вращающегося элемента одинаковыми, т.е.  $d_A = D_A = D_0 + H$ , то  $\omega_3 = \omega_2$ , а

$$|\Delta V_3| = V_i \cdot \frac{\dot{I} \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{D_0 + H}; \quad k_3 = \frac{H \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{D_0 + H}.$$

И, наконец, подгибка полки цилиндрическим роликом (табл., вар. IV), который установлен с возможностью изменения угла  $\alpha$  наклона (подгибки) в осевой плоскости валков. Окружная скорость всех точек, расположенных на образующей цилиндрической поверхности ролика, практически равна скорости полосы, т.е. взаимодействие ролика и полосы осуществляется без проскальзывания, и на контактной поверхности реализуется трение качения.

Параметры этого варианта формовки таковы:

$$\omega_4 = \omega \cdot \frac{D_0}{d_4}; \quad |\Delta V_4| = 0; \quad k_4 = 0.$$

По мере подгибки полки от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  изменяется величина  $k$ , а следовательно, и относительное скольжение. На рис. 1 представлены графики, характеризующие это изменение при определенных геометрических параметрах валков ( $D_0 = 100$  мм) и формуемого профиля ( $b = 50$  мм). Наибольшая величина скольжения имеет

место в калибре I, в 2 раза меньше она в калибре III, и в 3 раза - в калибре II. Кривая III (весьма близкая к прямой линии) пересекается с кривыми II и I в точках C и D. Значения углов, соответствующих этим точкам, можно найти из условия равенства в них коэффициентов  $k$ . Точке C соответствует угол  $\alpha = 45^\circ$  при любых геометрических параметрах валков и полосы. Точка D находится в диапазоне углов от  $20,3^\circ$  до  $25,4^\circ$ .

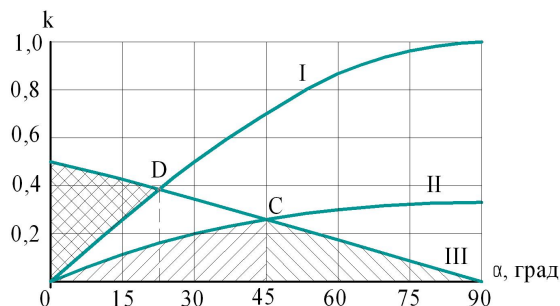


Рис. 1. Зависимость коэффициента  $k$  от угла подгибки полки элементами:  
I — коническим приводным; II — коническим свободно вращающимся;  
III — коническим роликом.

Это означает, что при подгибке полки от  $0^\circ$  до указанного диапазона углов скольжение на приводном коническом элементе меньше, чем на коническом ролике, а при подгибке от  $0^\circ$  до  $45^\circ$  на свободно вращающемся коническом элементе оно меньше, чем на коническом ролике. А при углах от  $45^\circ$  до  $90^\circ$  скольжение на коническом ролике меньше.

Таким образом, из рассмотренных вариантов конструкций неприводного инструмента наиболее эффективным является цилиндрический ролик, так как скольжение на нем практически отсутствует.

**4. Выводы:** Впервые получены данные о величине и распределении скоростей при формовке полосы неприводным инструментом различной конструкции. Они могут быть использованы при дальнейшем развитии теории формовки, в частности, для определения мощности процесса, а также при проектировании технологии и оборудования для изготовления профилей.

**Список литературы:** 1. Тришевский И. С. Теоретические основы процесса профилирования / И. С. Тришевский, М. Е. Докторов — М.: Металлургия, 1980. — 287 с. 2. Ахлестин А. В. О путях повышения качества тонкостенных гнутых профилей с покрытием / А. В. Ахлестин // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і в машинобудуванні. - Тематич. зб. наук. пр.- Краматорськ: ДДМА, 2004. — С. 614-619. 3. Бороденко В. Н. Экспериментальные исследования влияния технологических и геометрических параметров на усилие профилирования / В. Н. Бороденко, В. М. Королик, В. Ф. Гарбуз // Гнутые профили проката. Отрасл. сб. научн. тр. Вып. IV. — Харьков: УкрНИИМет, 1976. — С.33-37.

УДК 621.771.06–11К:621.771.25

**ЖУЧКОВ С.М.**, докт. техн. наук, проф., ИЧМ НАН Украины, г. Днепропетровск

**ТОКМАКОВ П.В.**, м.н.с., ИЧМ НАН Украины, г. Днепропетровск

**ЛЕЩЕНКО А.И.**, аспирант, ИЧМ НАН Украины, г. Днепропетровск